

TNO-rapport  
PML 1997-A70

## Onderzoek gebruiksduur actieve koolfilters aan boord van onderzeeërs van de Walrus- klasse

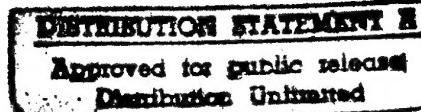
TNO Prins Maurits Laboratorium

Lange Kleiweg 137  
Postbus 45  
2280 AA Rijswijk

Telefoon 015 284 28 42  
Fax 015 284 39 63

Datum  
december 1997

Auteur(s)  
Dr. ir. E.P.J. Mallens



Rubricering  
Vastgesteld door : Ing. H. van Es  
Vastgesteld d.d. : 26 november 1997  
(deze rubricering wijzigt niet)

Titel : Ongerubriceerd  
Managementuitreksel : Ongerubriceerd  
Samenvatting : Ongerubriceerd  
Rapporttekst : Ongerubriceerd  
Bijlagen A - C : Ongerubriceerd

Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag worden  
vermenigvuldigd en/of openbaar  
gemaakt door middel van druk, foto-  
kopie, microfilm of op welke andere  
wijze dan ook, zonder voorafgaande  
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd  
uitgebracht, wordt voor de rechten en  
verplichtingen van opdrachtgever en  
opdrachtnemer verwezen naar de  
Algemene Voorwaarden voor Onder-  
zoeksopdrachten aan TNO, dan wel  
de betreffende terzake tussen de  
partijen gesloten overeenkomst.  
Het ter inzage geven van het  
TNO-rapport aan direct belang-  
hebbenden is toegestaan.

© 1997 TNO

DTIC QUALITY INSPECTED 3

19980415 054

BIBLIOTHEEK K.M.A.  
Postbus 90.154  
MPC 15F  
4800 RG BREDA

TNO Prins Maurits Laboratorium is onderdeel  
van de hoofdgroep TNO Defensieonderzoek  
waartoe verder behoren:

TNO Fysisch en Elektronisch Laboratorium  
TNO Technische Menskunde



Nederlandse Organisatie voor toegepast-  
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

## Managementuittreksel

**Titel** : Onderzoek gebruiksduur actieve koolfilters aan boord van onderzeeërs van de Walrusklasse  
**Auteur(s)** : Dr. ir. E.P.J. Mallens  
**Datum** : december 1997  
**Opdrachtnr.** : A90KM436  
**Rapportnr.** : PML 1997-A70

In opdracht van de Directie Materieel Koninklijke Marine (DMKM) is onderzoek verricht naar de gebruiksduur van actieve koolfilters aan boord van onderzeeërs van de Walrusklasse. Op dit moment worden de filterplaten (Noritheen, Norit N.V. te Amersfoort) standaard vervangen tijdens de halfjaarlijkse onderhoudsbeurt. Het is de vraag of de actieve kool tot op dat moment nog voldoende werkzaam is, of dat eerdere vervanging noodzakelijk is. Metingen zijn verricht aan gebruikte filterplaten afkomstig uit de 'Hr. Ms. Walrus' en 'Hr. Ms. Bruinvis'. De platen zijn verkregen na vervanging tijdens de onderhoudsbeurt.

Uit het onderzoek wordt geconcludeerd dat de adsorptiecapaciteit van alle actieve koolfilters aan boord van beide onderzeeërs volledig verbruikt is op het moment van vervanging van de filterplaten. Op de kool zijn voornamelijk n-alkanen teruggevonden in de range van C<sub>9</sub>-C<sub>17</sub> en daarnaast kleinere hoeveelheden vertakte alkanen en C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub>-benzenen. Bedacht moet worden dat een belangrijke fractie niet is gedesorbeerd en dus ook niet geanalyseerd is. Het kan niet uitgesloten worden dat tijdens het gebruik en voorafgaand aan de analyse zwak geadsorbeerde componenten reeds gedesorbeerd zijn. De beschikbare adsorptiecapaciteit van de actieve kool kan volledig benut worden door het type verbindingen aanwezig in de binnenlucht van onderzeeërs van de Walrusklasse. De actieve kool (noritheen) is derhalve geschikt als adsorbens voor de luchtbehandelingsinstallaties. Uit metingen uitgevoerd aan de luchtsamenstelling binnen twee verschillende onderzeeërs ('Binnenluchtkwaliteit onderzeeërs van de Walrusklasse' [1]) zijn waarden voor de totale concentratie aan koolwaterstoffen van 15 en 120 mg m<sup>-3</sup> gerapporteerd, tijdens operatie met gesloten luchtzuiveringssysteem. Op basis van deze metingen en technische gegevens afkomstig van de DMKM is een indicatie verkregen voor de gebruiksduur van de huidige actieve koolfilters en deze ligt in de range van 36 tot 285 uur, bij operatie met gesloten luchtzuiveringssysteem.

Voor een betere reiniging van de lucht zullen de filterplaten eerder vervangen moeten worden. De exacte gebruiksduur van de filters moet experimenteel worden bepaald. Een mogelijkheid is het installeren van een aantal testfilters in de onderzeeër, die na een bepaalde gebruikstijd geanalyseerd worden om na te gaan in hoeverre de actieve kool verzadigd is. Een andere aanpak bestaat uit het meten van de samenstelling van de binnenlucht met behulp van een speciale detector en zodra de tijdsgemiddelde concentratie aan koolwaterstoffen boven een nader vast te stellen waarde komt, de filterplaten te vervangen. Parallel hieraan kan gezocht worden naar een alternatief adsorbens, dat over een grotere adsorptiecapaciteit per

volume-eenheid beschikt, zodat met de bestaande filterhouders de totale adsorptiecapaciteit wordt vergroot.

## Samenvatting

In opdracht van de Directie Materieel Koninklijke Marine (DMKM) is onderzoek verricht naar de gebruiksduur van actieve koolfilters aan boord van onderzeeërs van de Walrusklasse. Metingen zijn verricht aan gebruikte filterplaten afkomstig uit de 'Hr. Ms. Walrus' en 'Hr. Ms. Bruinvis'.

De adsorptiecapaciteit van alle filters aan boord van beide onderzeeërs is volledig verbruikt op het moment van vervanging van de noritheenplaten. De geadsorbeerde fase bestaat voornamelijk uit n-alkanen in de range van C<sub>9</sub>-C<sub>17</sub> en daarnaast kleinere hoeveelheden vertakte alkanen en C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub>-benzenen. Bedacht moet worden dat een belangrijke fractie niet is gedesorbeerd en dus ook niet geanalyseerd is. Het kan niet uitgesloten worden dat tijdens het gebruik en voorafgaand aan de analyse zwak geadsorbeerde componenten reeds gedesorbeerd zijn. De beschikbare adsorptiecapaciteit van noritheen kan volledig benut worden voor het type verbindingen aanwezig in de binnenlucht van onderzeeërs van de Walrusklasse. De actieve kool (noritheen) is derhalve geschikt als adsorbens voor de luchtbehandelingsinstallaties. Op basis van metingen aan de binnenluchtkwaliteit en technische gegevens afkomstig van de DMKM is de gebruiksduur van de actieve koolfilters berekend en deze ligt in de range van 36 tot 285 uur, bij operatie met gesloten luchtruiveringsysteem.

Voor een optimale werking van het luchtruiveringsysteem zullen de noritheenplaten eerder vervangen moeten worden. Het verdient de aanbeveling de gebruiksduur van de filterplaten te onderzoeken door het installeren van een pakket kleine proeffilters, daar de berekende gebruiksduur slechts een indicatie is. Parallel hieraan kan gezocht worden naar een alternatief adsorbens, dat over een grotere adsorptiecapaciteit per volume-eenheid beschikt, zodat met de bestaande filterhouders de adsorptiecapaciteit wordt vergroot. Te allen tijde zou gebruikgemaakt kunnen worden van een speciale detector voor het meten van de totale concentratie aan koolwaterstoffen.

## Inhoud

Managementuittreksel .....	2
Samenvatting .....	4
1 Inleiding .....	6
2 Karakterisering actieve koolfilters.....	7
2.1 Experimentele opstellingen en procedures .....	7
2.2 Materialen .....	8
2.3 Uitgevoerde werkzaamheden.....	8
3 Discussie .....	17
4 Conclusies en aanbevelingen .....	19
4.1 Conclusies.....	19
4.2 Aanbevelingen .....	19
5 Literatuur.....	20
6 Dankwoord.....	21
7 Ondertekening.....	21

### Bijlagen:

- A Samenvatting van de resultaten verkregen met behulp van thermogravimetrie-massaspectometrie aan gebruikte noritheen van de 'Hr. Ms. Walrus' en 'Hr. Ms. Bruinvis'
- B Mac-waarden gebaseerd op zeven dagen continue blootstelling
- C Gegevens gebruikt voor berekening van een indicatie voor de maximale gebruiksduur van de actieve koolfilters aan boord van onderzeeërs van de Walrusklasse [3]

## 1 Inleiding

In opdracht van de Directie Materieel Koninklijke Marine (DMKM, Afdeling PFS) is onderzoek verricht naar de gebruiksduur van actieve koolfilters aan boord van onderzeeërs van de Walrusklasse in het kader van A-opdracht A90KM436, met als projectbegeleider Ing. H. van Es. Op dit moment worden de filterplaten standaard vervangen tijdens de halfjaarlijkse onderhoudsbeurt en het is de vraag of de adsorptiecapaciteit van de actieve kool op dat moment reeds volledig verbruikt is danwel dat vervanging nog niet noodzakelijk is. Metingen zijn verricht aan gebruikte filterplaten afkomstig uit de 'Hr. Ms. Walrus' en 'Hr. Ms. Bruinvis' verkregen na vervanging tijdens de onderhoudsbeurt. Hierbij zijn de verbruikte en restcapaciteit van de actieve kool bepaald en zijn analyses uitgevoerd van de samenstelling van de geadsorbeerde componenten. Een samenvatting van deze resultaten is toegestuurd aan Ing. H. van Es d.d. 1 mei 1997 (Brief 97D1/844, [2]), en staan ook vermeld in dit rapport. Deze resultaten zijn vergeleken met die verkregen voor verse actieve kool, afkomstig uit het magazijn van de DMKM. Tevens is nagegaan of de gebruiksduur van de filters te voorspellen is op basis van metingen aan de binnenluchtkwaliteit van onderzeeërs tijdens verschillende operaties. Uit het onderzoek is een duidelijk inzicht verkregen in de effectiviteit van de filters en zijn aanbevelingen gedestilleerd voor de toepasbaarheid van het actieve koolmateriaal voor luchtreiniging aan boord van onderzeeërs.

## 2 Karakterisering actieve koolfilters

### 2.1 Experimentele opstellingen en procedures

In deze paragraaf worden kort de gebruikte experimentele technieken voor karakterisering van de actieve kool toegelicht.

Door middel van fysisorptie vindt karakterisering plaats van de poreuze actieve kool, waarbij adsorptie van stikstof bij 77 K de meest toegepaste techniek is.

Hierbij wordt een adsorptie-isotherm bepaald die de geadsorbeerde hoeveelheid stikstof weergeeft als functie van de relatieve druk. Het monster wordt voorbehandeld bij een temperatuur van 60 °C met stikstof gedurende 20 uur, waarbij de kool gedroogd wordt. Het gewichtsverlies bedraagt hierbij ongeveer 2% voor de gebruikte kool en 8% voor de verse kool als gevolg van de desorptie van water.

Nadat het monster geëvacueerd is bij een temperatuur van 120 °C, wordt stikstof gedoseerd bij een temperatuur van 77 K. Na elke dosering wordt gewacht totdat evenwicht bereikt is en vervolgens wordt de geadsorbeerde hoeveelheid bepaald. Uit de gemeten adsorptie-isotherm worden de volgende grootheden berekend: de specifieke oppervlakte, volgens de BET methode, die het voor adsorptie beschikbare oppervlak weergeeft per massa monster. Het porievolume, dat het totale volume weergeeft beschikbaar voor adsorptie. Het microporievolume is het totale volume van alle poriën met afmeting kleiner dan 2 nm. De totale adsorptiecapaciteit van een actieve kool wordt in belangrijke mate bepaald door dit volume.

Bepaling van de samenstelling van de geadsorbeerde fase is in principe mogelijk met behulp van Thermo Gravimetrie (TG) gekoppeld aan een Massa Spectrometer (MS). Het principe van TG berust op het meten van massaverandering van een monster actieve kool als functie van de temperatuur en de tijd. Door een monster van de gebruikte actieve kool te verwarmen treedt desorptie op van de geadsorbeerde verbindingen en zodoende kan de totale geadsorbeerde hoeveelheid bepaald worden. De temperatuur kan gevareerd worden tussen kamertemperatuur en 500 °C. Met behulp van de MS wordt de samenstelling van het gedesorbeerde gas gevuld als functie van de tijd voor het gebied van nul tot driehonderd *atomic mass units*. Voor de meting is een monster van ongeveer 50 mg uit de noritheenplaat geslagen met behulp van een stans en dit is in het gaten kroesje van de TG geplaatst. Vervolgens wordt argon als draaggas langs het kroesje geleid en de temperatuur in de oven van de TG verhoogd van kamertemperatuur naar 150 °C met een snelheid van 40 °C per minuut. Vervolgens wordt de temperatuur van de oven constant gehouden op een waarde van 150 °C gedurende 1000 s, waarna afkoeling plaatsvindt tot kamertemperatuur. De temperatuur wordt niet verder verhoogd omdat het bindermateriaal bij hogere temperaturen ontleedt. Tijdens deze metingen desorbeert slechts 10 gewichts % van de totale geadsorbeerde hoeveelheid.

## 2.2 Materialen

Metingen zijn verricht aan drie verschillende actieve koolmaterialen. Het eerste is verse actieve kool, verkregen via de DMKM, dat dient als referentiemateriaal.

Gebruikte actieve kolen zijn ontvangen van twee verschillende onderzeeërs:

'Hr. Ms. Walrus' en 'Hr. Ms. Bruinvis'. In totaal zijn dertien dozen ontvangen met elke veertien filterplaten. In onderstaande tabel staan de ontvangen materialen samengevat, met daarbij vermeld een monstercode voor elk filter waaraan in dit rapport gerefereerd wordt. Voor verwijzing naar één plaat uit één filter wordt een volgnummer aan deze monstercode toegevoegd. Tevens is de locatie aan boord van de onderzeeër vermeld, zoals aangegeven op de ontvangen dozen.

*Tabel 1: Overzicht van de via DMKM ontvangen dozen met elk veertien gebruikte filterplaten van het luchtreinigingssysteem aan boord van onderzeeërs.*

Onderzeeër	Locatie	Monstercode
Hr. Ms. Walrus	LBH 3 + 4	96ALL073
Hr. Ms. Walrus	LBH 3 + 4	96ALL074
Hr. Ms. Walrus	LBH 3 + 4	96ALL075
Hr. Ms. Walrus	LBH 5	96ALL076
Hr. Ms. Walrus	LBH 3 + 4	96ALL077
Hr. Ms. Walrus	LBH 3 + 4	96ALL078
Hr. Ms. Bruinvis	LBH 5	96ALL089
Hr. Ms. Bruinvis	LBH 3	96ALL090
Hr. Ms. Bruinvis	LBH 5	96ALL091
Hr. Ms. Bruinvis	LBH4	96ALL092
Hr. Ms. Bruinvis	Egal Vent	96ALL093
Hr. Ms. Bruinvis	LBH 4	96ALL094
Hr. Ms. Bruinvis	LBH 3	96ALL095

In geval van de 'Hr. Ms. Walrus' is de volgorde van de ontvangen platen willekeurig en waarschijnlijk verschillend van die in het filter; voor de 'Hr. Ms. Bruinvis' komt de volgorde van de platen overeen met die in het filter. Tijdens gebruik van de filterplaten zijn vijf misstarts van de dieselmotoren gemeld voor de 'Hr. Ms. Walrus', gedurende een periode van zeven maanden continue gebruik van de onderzeeër met een verlofperiode van drie weken. Voor de 'Hr. Ms. Bruinvis' is de exacte gebruiksperiode niet bekend.

## 2.3 Uitgevoerde werkzaamheden

### 2.3.1 Bepaling adsorptiecapaciteit

Metingen aan de stikstofadsorptiecapaciteit zijn uitgevoerd voor de verse en gebruikte actieve kolen. Tevens is voor een tweetal gebruikte kolen de geadsorbeerde fase geëxtraheerd met behulp van CS<sub>2</sub> en vervolgens zijn deze onderzocht met behulp van stikstofadsorptie. De resultaten van deze metingen zijn vermeld in onderstaande tabel, tezamen met die van de actieve kool waaruit de noriteneen platen zijn samengesteld, namelijk R1-kool.

*Tabel 2: Resultaten stikstofadsorptiemetingen aan verse en gebruikte noritheel aan boord van onderzeeërs.*

Materiaal	Onderzeeër	Monsternr.	$S_{BET}^2$ $m^2 g^{-1}$	$V_{porie}^3$ $cm^3 g^{-1}$
R1-kool	-	A5543	1354	0,68
Verse noritheel	-	97ALL034	745	0,34
Gebruikte noritheel	Walrus	96ALL073-6	2	$4 \cdot 10^{-3}$
Gebruikte noritheel	Walrus	96ALL074-7	3	$4 \cdot 10^{-3}$
Gebruikte noritheel	Walrus	96ALL075-7	3	$4 \cdot 10^{-3}$
Gebruikte noritheel	Walrus	96ALL076-7	2	$3 \cdot 10^{-3}$
Gebruikte noritheel	Walrus	96ALL077-7	2	$3 \cdot 10^{-3}$
Gebruikte noritheel	Walrus	96ALL078-7	2	$3 \cdot 10^{-3}$
Gebruikte noritheel	Bruinvis	96ALL089-7	2	$2 \cdot 10^{-3}$
Gebruikte noritheel	Bruinvis	96ALL095-3	1	$2 \cdot 10^{-3}$
Gebruikte noritheel	Bruinvis	96ALL095-7	1	$2 \cdot 10^{-3}$
Gebruikte noritheel	Bruinvis	96ALL095-14	1	$2 \cdot 10^{-3}$
Gebruikte noritheel <sup>1</sup>	Walrus	96ALL073-6	580	0,26
Gebruikte noritheel <sup>1</sup>	Bruinvis	96ALL095-7	260	0,12

*1 Gebruikte noritheel, geëxtraheerd met CS<sub>2</sub> waarbij de actieve kooldeeltjes zijn overgebleven.*

*2 BET-oppervlakte.*

*3 Microporieuvolume.*

Uit tabel 2 blijkt dat de BET-oppervlakte van de verse noritheel gemiddeld 745 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> bedraagt, wat ongeveer de helft per gewichtseenheid is van de R1-kool. De oorzaak hiervan is het bindermateriaal dat aanwezig is in het noritheel en niet bijdraagt aan de adsorptiecapaciteit. De adsorptiecapaciteit van de gebruikte noritheel is slechts 2 à 3 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> voor alle platen afkomstig uit beide onderzeeërs. Uit deze resultaten is geconcludeerd dat de adsorptiecapaciteit van de gebruikte noritheel verwaarloosbaar is. Na extractie met CS<sub>2</sub> van de gebruikte noritheel is de actieve kool losgeweekt van het bindermateriaal en de BET-oppervlakte van de gebruikte kool zelf bedraagt 260 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> voor het ene monster en 580 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> voor het andere. Vergelijking van deze waarden met die van verse R1-kool laat zien dat de oorspronkelijke adsorptiecapaciteit niet teruggevonden is, wat erop duidt dat door middel van deze extractieprocedure het niet mogelijk is alle geadsorbeerde componenten te verwijderen.

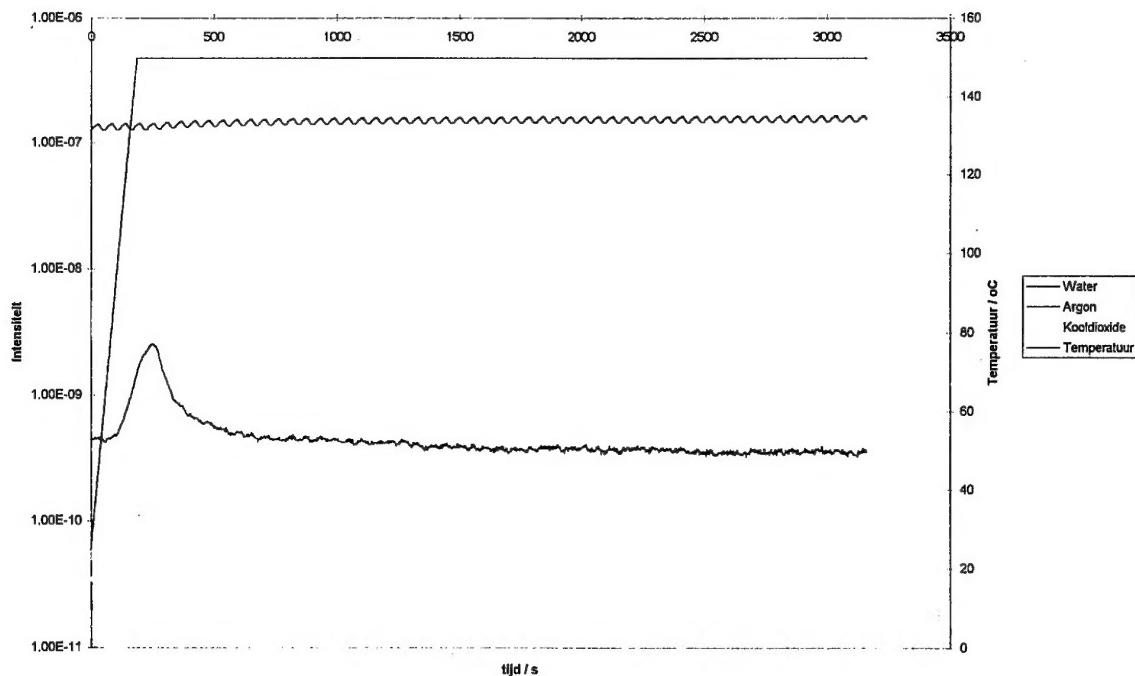
De totale hoeveelheid aan geadsorbeerde componenten is bepaald door monsters uit de verse en gebruikte noritheel te wegen en uit de verschillende belading te berekenen voor verschillende posities uit één filterplaat, zie tabel 3. De gemiddelde hoeveelheid geadsorbeerde componenten bedraagt 0,29 g g<sup>-1</sup> voor een plaat uit de 'Hr. Ms. Walrus' (96ALL073-2) en 0,39 g g<sup>-1</sup> voor een plaat uit de 'Hr. Ms. Bruinvis' (96ALL095-4). Een verklaring voor het verschil in belading tussen de twee platen uit verschillende onderzeeërs is niet gevonden.

*Tabel 3: Totale hoeveelheid geadsorbeerde componenten gemeten op verschillende posities van één filterplaat voor beide onderzeeërs.*

Monstercode	Belading/g g <sup>-1</sup>
96ALL073-2 'Hr. Ms. Walrus'	0,26 0,25 0,34 0,32 0,27 0,29
Gemiddeld	0,29
96ALL095-4 'Hr. Ms. Bruinvis'	0,37 0,36 0,39 0,38 0,42 0,39
Gemiddeld	0,39

### 2.3.2 Bepaling verbruikte adsorptiecapaciteit

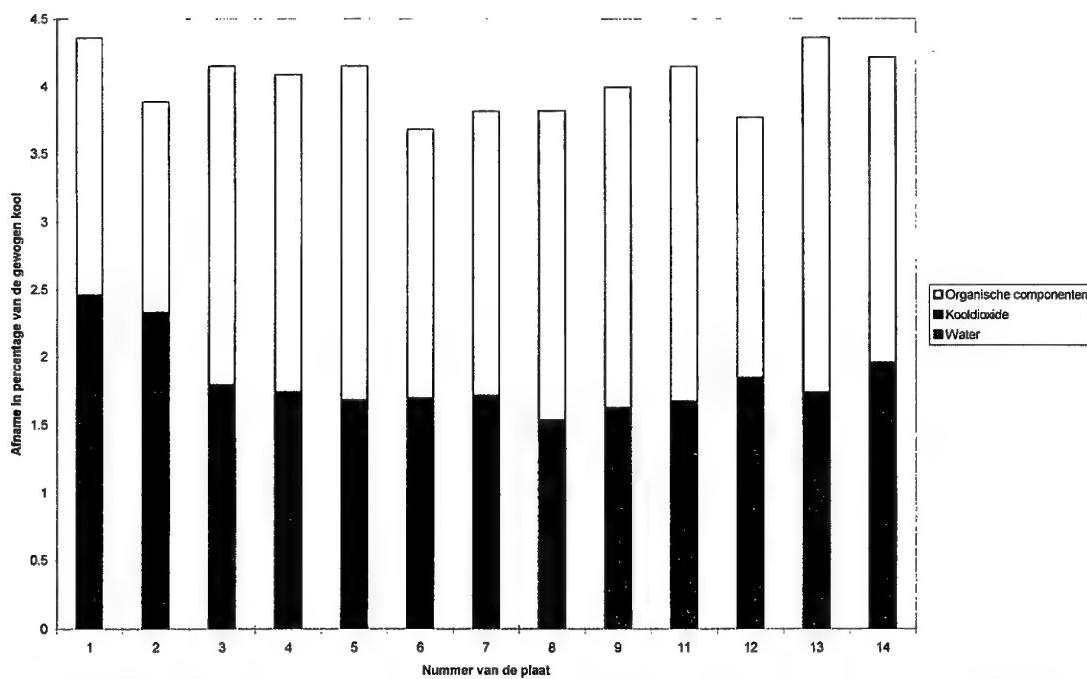
Voor gebruikte noritheen is tijdens verwarming van een monster in de TG de samenstelling van het gedesorbeerde gas gemeten met behulp van een massaspectrometer en een typisch signaal wordt gegeven in figuur 1.



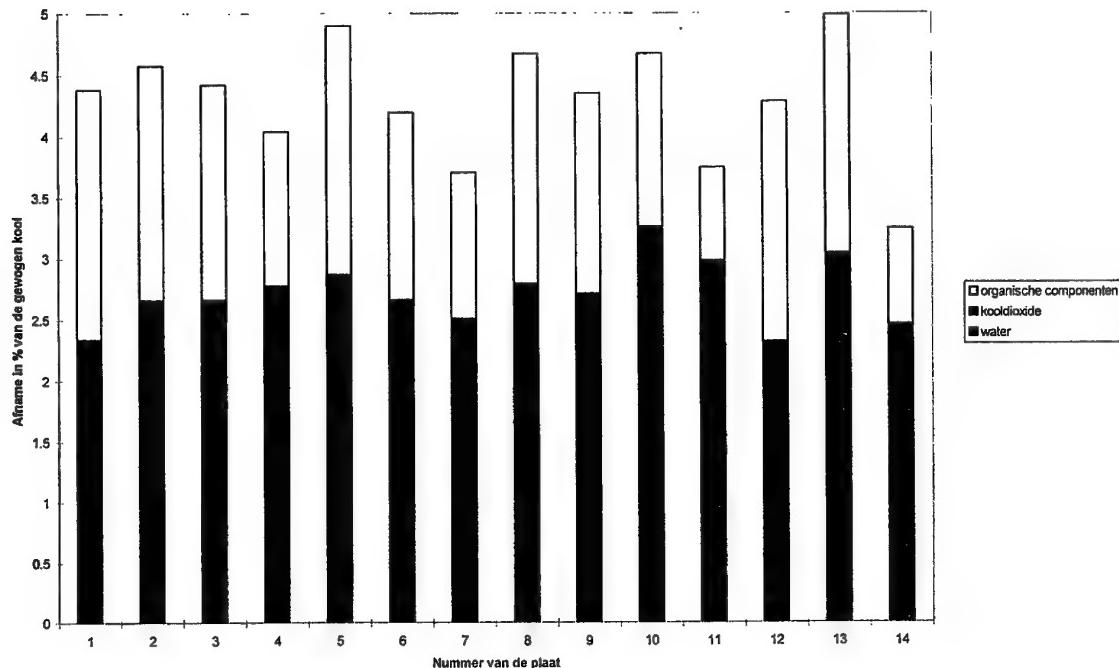
*Figuur 1: Uitgangssignaal van de massaspectrometer voor argon (massa 40), water (massa 18) en kooldioxide (massa 44) tijdens verwarming van een monster gebruikte noritheen van kamertemperatuur tot 150 °C met een snelheid van 40 °C per minuut.*

Het signaal van argon (massa 40) blijft constant gedurende de meting en desorptie vindt plaats van water (massa 18) en kooldioxyde (massa 44). Daarnaast vindt tevens desorptie plaats van andere componenten (massa 41, 43, 55, 57, 69, 71), die echter niet geïdentificeerd kunnen worden op basis van het MS-signaal, maar waarschijnlijk toe te wijzen zijn aan organische componenten. Voor water en kooldioxyde worden de gedesorbeerde hoeveelheden berekend door integratie van de MS-signalen met behulp van de bijbehorende calibratiefactor. De massa-afname van de overige componenten wordt berekend uit het verschil van de gemeten massa-afname met behulp van de TG en die berekend voor  $\text{H}_2\text{O}$  en  $\text{CO}_2$ . De resultaten van deze metingen zijn samengevat in tabel 1 van bijlage A.

Figuur 2 en 3 tonen de relatieve gedesorbeerde hoeveelheid van water, kooldioxyde en overige componenten ten opzichte van de totale monstermassa als functie van het nummer van de plaat voor één filter.



Figuur 2: Gedesorbeerde fractie van water, kooldioxyde en organische componenten voor veertien filterplaten uit LBH 3 en 4 (96ALL073) van 'Hr. Ms. Walrus'; volgorde van de platen komt niet overeen met die in het actieve koolfilter. Fractie weergegeven in procenten van de totale monstermassa.



*Figuur 3: Gedesorbeerde fractie van water, kooldioxide en organische componenten voor veertien filterplaten uit LBH 3 (96ALL095) van 'Hr. Ms. Bruinvis'; volgorde van de platen komt overeen met die in het actieve koolfilter. Fractie weergegeven in procenten van de totale monsternassa.*

Uit vergelijking van deze resultaten met die voor de totale belading uit de vorige paragraaf blijkt dat slechts 10% van de totale geadsorbeerde hoeveelheid is gedesorbeerd als gevolg van verwarming in de TG, waaruit geconcludeerd wordt dat desorptie van hoger moleculaire componenten een zeer langzaam proces is. In figuur 2 (Walrus) is de plaatvolgorde willekeurig; in figuur 3 (Bruinvis) komt de volgorde van de platen overeen met die waarin ze in het filter gestaan hebben. Uit figuur 3 blijkt dat geen trend waarneembaar is van de gedesorbeerde hoeveelheid als functie van de positie van de plaat in het filter voor zowel water, kooldioxide als overige componenten; de samenstelling van de gedesorbeerde massa van de verschillende platen vertoont niet veel verschillen. Uit figuur 2 blijkt dat ook voor het filter uit de Walrus de verschillen in de hoeveelheid gedesorbeerde componenten gering is, met een paar uitzonderingen. Berekening van de gemiddelde totale massa-afname en die per component voor alle platen uit één filter resulteert in de waarden vermeld in onderstaande tabel.

*Tabel 4: Samenstelling en hoeveelheid van gedesorbeerde fase van gebruikte noritreen aan boord van onderzeeërs, zoals volgt uit metingen met behulp van thermogravimetrie.*

Relatieve massa-afname / %	'Hr. Ms. Walrus' KM 96ALL073	'Hr. Ms. Bruinvis' KM 96ALL095
Totaal	$4,09 \pm 0,31$	$4,30 \pm 0,49$
Water	$1,37 \pm 0,21$	$2,10 \pm 0,23$
Kooldioxyde	$0,47 \pm 0,08$	$0,61 \pm 0,07$
Overige componenten	$2,26 \pm 0,35$	$1,59 \pm 0,44$

Uit bovenstaande tabel blijkt dat de totale hoeveelheid gedesorbeerde componenten alsmede de gedesorbeerde hoeveelheid CO<sub>2</sub> en overige componenten niet significant verschillend zijn voor de twee filters van beide onderzeeërs. De hoeveelheid gedesorbeerd water is wél significant verschillend.

Vergelijking van de overige resultaten zoals vermeld in tabel 1 van bijlage A met die uit tabel 4 laat zien dat de gedesorbeerde hoeveelheden van verschillende filters uit één onderzeeër onderling niet significant verschillend zijn. Tevens is nagegaan dat de gedesorbeerde hoeveelheden identiek zijn voor verschillende posities van één noritheenplaat.

In het geval van *verse noritreen* wordt ook desorptie van water en kooldioxyde waargenomen. De resultaten staan vermeld in tabel 1 van bijlage A. In totaal zijn drie metingen uitgevoerd, waarbij de relatieve massa-afname voor de eerste twee metingen 8 à 9% bedraagt en die voor de derde meting ongeveer 4%. In het geval van de laatste meting is de massabalans nagenoeg sluitend (95%) dat wil zeggen de massa-afname gemeten met de TG is gelijk aan de som van de massa-afnamen van water en kooldioxyde berekend uit de MS-signalen. Hieruit wordt geconcludeerd dat geen bindermateriaal van het noritheen verdwijnt tijdens de desorptiemeting. De grotere massa-afname tijdens de eerste en tweede meting wordt veroorzaakt door een grotere hoeveelheid gedesorbeerd water. De massa-balans is in deze twee gevallen niet sluitend, maar dit wordt veroorzaakt doordat het watersignaal niet goed gemeten is als gevolg van 'out of range' van de MS-signalen.

Uit bovenstaande metingen is geconcludeerd dat de desorptie van organische componenten van de gebruikte noritheen het gevolg is van componenten geadsorbeerd tijdens gebruik in de onderzeeër, daar desorptie van water en kooldioxyde ook waargenomen is voor de verse noritheen. De identieke gedesorbeerde hoeveelheden van de organische componenten duiden erop dat de belading van deze componenten gelijk is voor alle filters van beide onderzeeërs.

### 2.3.3 Analyse van de geadsorbeerde fase

Analyse van de geadsorbeerde fase is uitgevoerd door extractie met behulp van CS<sub>2</sub> en vervolgens analyse door middel van gaschromatografie-massaspectometrie. Analyses zijn uitgevoerd voor een vers monster noritheen (97ALL034) en één gebruikte monster uit elke onderzeeër (96ALL073-6 en 96ALL095-10). Voor beide gebruikte monsters zijn dezelfde verbindingen aangetroffen in vergelijkbare hoe-

veelheden. Voornamelijk zijn n-alkanen gerapporteerd ( $C_9-C_{17}$ ), met een maximum voor  $C_{13}-C_{14}$ , op het niveau van  $30-50 \text{ mg g}^{-1}$  monster. Daarnaast zijn kleinere hoeveelheden vertakte alkanen en  $C_2-C_4$ -benzenen gerapporteerd. Deze verbindingen zijn niet aangetroffen op de verse noritheel. Uit het rapport 'Binnenluchtkwaliteit Walrusklasse' [1] blijkt dat koolwaterstoffen, waaronder de n-alkanen, inderdaad voorkomen in de atmosfeer binnen een onderzeeër. Met behulp van deze analysetechniek is slechts 13 - 17% van de totale geadsorbeerde hoeveelheid, zie tabel 3, gedetecteerd.

#### 2.3.4 Berekeningen aan de adsorptiecapaciteit

De concentratie van verschillende verontreinigingen in de binnenlucht van de Walrusklasse-onderzeeërs is vermeld in 'Binnenluchtkwaliteit Walrusklasse' [1]. In geval van de eerste onderzeeër lag de totale concentratie aan koolwaterstoffen in de range van 5 tot  $15 \text{ mg m}^{-3}$  gedurende operatie onder water gebaseerd op een tijdsgemiddelde concentratie gedurende twee uur. Voor de tweede onderzeeër lag deze waarde in de range van 91 tot  $120 \text{ mg m}^{-3}$ , gemiddeld gedurende drie en twaalf uur respectievelijk. Een mogelijke verklaring voor dit grote verschil is dat de actieve koolfilters verzadigd waren in geval van de tweede onderzeeër. Aangezien deze filters ook verzadigd waren voor de 'Hr. Ms. Walrus' en 'Hr. Ms. Bruinvis' mag voor de samenstelling van de lucht uitgegaan worden van de hoogste concentraties, waarvoor in onderstaande tabel een specificatie is gegeven.

*Tabel 5: Tijdsgemiddelde concentraties van koolwaterstoffen aan boord van een onderzeeër gedurende operatie onder water. (Uit: 'Binnenluchtkwaliteit Walrusklasse' [1]).*

Component	Concentratie (mg m <sup>-3</sup> )
Ethanol	6,8
2-methylbutaan	1,2
N-pentaan	1,2
2-methylpentaan	1,1
N-hexaan	1,5
Benzeen	0,4
Cyclohexane	1,3
2-methylhexaan	2,0
3-methylhexaan	1,6
N-octaan	1,0
N-heptaan	4,1
Methyl-cyclohexaan	4,9
Tolueen	2,8
2-methylheptaan	4,0
3-methylheptaan	3,3
N-octaan	6,3
Ethyl benzeen	1,1
Xyleen	2,5
N-nonaan	7,4
3-ethyltolueen	1,1
4-ethyltolueen	1,5
Acetaldehyde	1,1
Formaldehyde	0,05
Acroleïne	< 0,01
Polycyclische aromatische koolwaterstoffen	0,004
Vaste deeltjes	0,14

In totaal zijn 21 andere componenten niet geïdentificeerd.

In bijlage B staat een lijst met Mac-waarden voor een aantal van de componenten, vermeld in tabel 5.

Deze Mac-waarden zijn gebaseerd op zeven dagen continue blootstelling aan de desbetreffende component en afkomstig uit de ruimtevaart.

Vergelijking van de gemeten concentraties aan boord van de onderzeeër, zie tabel 5, en de Mac-waarden uit bijlage B, laat zien dat alleen de concentratie aan benzeen boven de Mac-waarden ligt. Echter, voor een mengsel van componenten moet rekening gehouden worden met het cumulatief effect van een serie componenten die behoren tot dezelfde toxiciteitsklasse.

Tijdens een misstart van de dieselmotoren is in de machinekamer de concentratie van een aantal componenten veel hoger; typische concentraties zijn weergegeven in onderstaande tabel. Deze cijfers zijn tijdsgemiddelde concentraties gemeten gedurende 40 of 60 minuten. De piekconcentraties gedurende de misstart zijn ongeveer een factor 2 hoger.

*Tabel 6: Tijdsgemiddelde concentraties van koolwaterstoffen in de machinekamer aan boord van een onderzeeër met gesloten luchtreinigingssysteem tijdens een missstart. (Uit: 'Binnenluchtkwaliteit Walrusklasse' [1]).*

Component	Concentratie (mg m <sup>-3</sup> )
Acroleïne	0,20
Formaldehyde	2,2
Acetaldehyde	6,2
Vaste deeltjes	14
Polycyclische aromatische koolwaterstoffen	0,063

Uit de analyse van geadsorbeerde fase van de gebruikte actieve kool is geconcludeerd dat de geadsorbeerde fase voornamelijk bestond uit n-alkanen in de hoeveelheid van 30 tot 50 mg g<sup>-1</sup>, naast geringe hoeveelheden van vertakte koolwaterstoffen en aromatische koolwaterstoffen.

Om na te gaan of bij typische concentraties voor koolwaterstoffen in het algemeen, als vermeld in het rapport 'Binnenluchtkwaliteit Walrusklasse' [1], verzadiging van de actieve koolfilters op zou kunnen treden is een aantal berekeningen aan het adsorptie-evenwicht voor decaan en tridecaan bij een temperatuur van 298 K uitgevoerd. De resultaten staan vermeld in onderstaande tabel.

*Tabel 7: Berekeningen aan de evenwichtsadsorptiecapaciteit van decaan en tridecaan bij typische concentraties gemeten aan boord van onderzeeërs.*

Component	C <sup>1</sup> (mg m <sup>-3</sup> )	P <sub>r</sub> <sup>2</sup>	n <sup>3</sup> (g g <sup>-1</sup> )	n <sub>o</sub> <sup>4</sup> g g <sup>-1</sup>
Decaan	0,5	6,4 10 <sup>-4</sup>	0,17	0,25
	5	6,4 10 <sup>-3</sup>	0,20	0,25
	120	0,015	0,23	0,25
Tridecaan	0,5	1,1 10 <sup>-3</sup>	0,22	0,25
	5	1,1 10 <sup>-2</sup>	0,24	0,25
	120	0,27	0,25	0,25

1 Concentratie verontreiniging.

2 Relatieve druk van de verontreiniging.

3 Geadsorbeerde hoeveelheid bij concentraties aan boord van de onderzeeër.

4 Maximale geadsorbeerde hoeveelheid bij relatieve druk van 1.

De adsorptie-capaciteit van verse noritreen is tevens experimenteel bepaald voor tridecaan. Hiertoe is een met tridecaan verzadigde luchtstroom bij een temperatuur van 298 K door een actieve koolbed van noritreen geleid totdat evenwicht is bereikt. De evenwichtsbelading bij deze temperatuur bedraagt 0,23 g g<sup>-1</sup> en deze waarde komt goed overeen met de berekende waarde van 0,25 g g<sup>-1</sup> vermeld in tabel 7.

Uit bovenstaande tabel blijkt dat de hogere n-alkanen bij lage relatieve drukken sterk adsorberen aan de actieve kool en dat dit toeneemt naarmate de ketenlengte toeneemt. In het geval van tridecaan is de evenwichtsadsorptiecapaciteit voor een relatieve druk van 0,001 gelijk aan 88% van de maximale adsorptiecapaciteit. De aanwezigheid van dergelijke verbindingen in hoge concentraties in de atmosfeer van de onderzeeërs is een mogelijke verklaring voor de verzadiging van de actieve koolfilters op het moment van vervanging.

### 3 Discussie

De adsorptiecapaciteit van alle onderzochte filters aan boord van beide onderzeeërs is volledig verbruikt op het moment van vernieuwen van de noritheenplaten. Dit wordt geconcludeerd uit de BET-metingen. In het geval van de 'Hr. Ms. Walrus' zijn de platen zeven maanden operationeel geweest; voor de 'Hr. Ms. Bruinvis' is deze periode niet bekend. De totale belading aan geadsorbeerde componenten ligt in de ordegrootte van  $0,35 \text{ g g}^{-1}$ , zie tabel 3. Desorptie van de geadsorbeerde fase verloopt zeer langzaam, zoals geconcludeerd uit de extractie met  $\text{CS}_2$  waarbij slechts 20-40% van het oorspronkelijke microporieuvelume teruggevonden wordt. Door middel van verwarming tot  $150^\circ\text{C}$  desorbeert ongeveer 10% van de geadsorbeerde hoeveelheid en de gedesorbeerde fase bestaat uit water, kooldioxyde en organische componenten. Desorptie van zwak geadsorbeerde componenten tijdens gebruik en voorafgaand aan de analyse kan niet uitgesloten worden. Door middel van extractie met  $\text{CS}_2$  worden voornamelijk n-alkanen gedetecteerd in de range van  $\text{C}_9\text{-C}_{17}$ , met een maximum voor  $\text{C}_{13}\text{-C}_{14}$ . Het is waarschijnlijk dat deze laatste componenten afkomstig zijn van dieseldampen aan boord van de onderzeeër, omdat de samenstelling van de geadsorbeerde fase sterk overeenkomt met die van dieselbrandstof. Aanwezigheid van koolwaterstoffen in de binnenlucht is gerapporteerd in een totale concentratie van 5 tot  $120 \text{ mg m}^{-3}$ , met gesloten luchtuiveringssysteem, waarbij de n-alkanen in de hoogste concentraties voorkomen. De experimenteel bepaalde adsorptiecapaciteit van het noritheen voor tridecaan als typische verontreiniging in de binnenlucht komt overeen met de berekende waarde voor die component. Dit betekent dat door dit type verbindingen de adsorptiecapaciteit van noritheen volledig benut wordt voor de gemeten concentraties, waarmee de verzadiging van de koolfilters verklaard kan worden.

Uit de resultaten wordt geconcludeerd dat noritheen geschikt is als adsorbens voor luchtuivering aan boord van onderzeeërs. De filters zijn echter verzadigd op het moment van vervanging voor beide onderzeeërs en zullen dus eerder vervangen moeten worden, uitgaande van het huidige actieve koolmateriaal. Een indicatie voor de maximale gebruiksduur wordt hier gemaakt op basis van concentraties van tridecaan als typische component in de waarden van 15 en  $120 \text{ mg m}^{-3}$ ; deze waarde is totale concentratie aan koolwaterstoffen bij gesloten vaart zoals gemeten aan boord van twee verschillende onderzeeërs ('Binnenluchtkwaliteit Walrusklasse' [1]). Technische gegevens over het luchtuiveringssysteem zijn verkregen via DMKM [3], zoals vermeld in bijlage C. Op basis van de twee bovenvermelde concentraties wordt een range berekend voor de maximale gebruiksduur van de actieve koolfilters: 36 tot 285 uur. De gebruiksduur van de actieve koolfilters kan vastgesteld worden door middel van metingen aan boord van de onderzeeër zelf. Een mogelijkheid is het installeren van een aantal testfilters in de onderzeeër die na een bepaalde gebruikstijd geanalyseerd worden om na te gaan in hoeverre de actieve kool verzadigd is. Een andere aanpak bestaat uit het meten van de samenstelling van de binnenlucht met een speciale detector en zodra de tijdsgemiddelde

concentratie aan koolwaterstoffen boven een nader vast te stellen waarde komt, de filterplaten te vervangen. Parallel hieraan kan gezocht worden naar een alternatief adsorbens met een hogere adsorptiecapaciteit per volume-eenheid, zodat met de bestaande filterhouders de totale adsorptiecapaciteit wordt vergroot. In het geval van noritseen bedraagt de adsorptiecapaciteit per volume-eenheid 50 à 60% van de actieve kool zelf, vanwege de aanwezigheid van het bindermateriaal. Echter, het filtermateriaal zal ook op een gemakkelijke manier vervangen moeten kunnen worden, zodat het materiaal bijvoorbeeld in plaatvorm verkrijgbaar moet zijn.

## 4 Conclusies en aanbevelingen

### 4.1 Conclusies

- De adsorptiecapaciteit van alle filters aan boord van beide onderzeeërs is volledig verbruikt op het moment van vervanging van de norittheenplaten.
- De geadsorbeerde fase bestaat voornamelijk uit n-alkanen in de range van C<sub>9</sub>-C<sub>17</sub> en daarnaast kleinere hoeveelheden vertakte alkanen en C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub> benzenen, gebaseerd op analyse van de fractie die gedesorbeerd is.
- De beschikbare adsorptiecapaciteit van norittheen kan volledig benut worden voor het type verbindingen aanwezig in de binnenlucht van onderzeeërs van de Walrusklasse.
- Desorptie van de geadsorbeerde verbindingen door middel van extractie of verwarming verloopt zeer langzaam. Desorptie van zwak geadsorbeerde componenten tijdens gebruik of voorafgaand aan de analyse kan niet uitgesloten worden.
- De berekende gebruiksduur van de actieve koolfilters ligt in de range van 36 tot 285 uur bij een gesloten luchtuiveringssysteem.

### 4.2 Aanbevelingen

De norittheenfilterplaten zullen eerder vervangen moeten worden voor een optimale werking van het luchtuiveringssysteem. De gebruiksduur moet onderzocht worden door metingen aan boord van een onderzeeër. Het is ook mogelijk de samenstelling van de lucht te meten met behulp van een speciale detector en zodra de tijdsgemiddelde concentratie aan koolwaterstoffen boven een nader vast te stellen waarde komt, de filterplaten te vervangen.

Parallel aan het onderzoeken van de optimale gebruiksduur van de filterplaten kan gezocht worden naar een alternatief adsorbens, dat toch makkelijk hanteerbaar is maar een grotere adsorptiecapaciteit per volume-eenheid heeft, zodat de adsorptiecapaciteit van de bestaande filterhouders vergroot wordt.

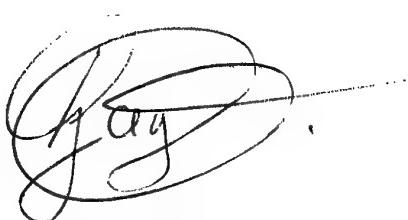
## 5 Literatuur

- [1] Binnenluchtkwaliteit Walrusklasse (Arbeidsgeneeskundige metingen aan boord van Hr. Ms. Walrus en Hr. Ms. Zeeleeuw), Dienst Bedrijfsgezondheidszorg KM (Afd. Onderwatergeneeskunde en Afd. Alg. Bedrijfsgeneeskunde), januari 1994, nr. M32940/1590.
- [2] Samenvatting resultaten onderzoek actieve koolfilters onderzeeërs. Brief aan Ing. H. van Es (DMKM), 1 mei 1997, nr. 97D1/844.
- [3] Technische documentatie ontvangen van Ing. H. van Es (DMKM) over luchtbehandelingssysteem aan boord van onderzeeërs van de Walrusklasse.

## 6 Dankwoord

Het experimenteel onderzoek beschreven in dit rapport is uitgevoerd door Ing. E.L.M. Krabbendam-La Haye, Ing. H. Dankers en Ing. W. Rook van de researchgroep Adembescherming en Luchtzuivering en W. Duvalois en Ing. A.L. de Jong van de researchgroep Analyse Toxische en Explosieve Stoffen.

## 7 Ondertekening



Drs. H. Jager  
Projectleider



Dr. ir. E.P.J. Mallens  
Auteur

**Bijlage A**

**Samenvatting van de resultaten verkregen met behulp van thermogravimetrie-massaspectrometrie aan gebruikte noritheen van de 'Hr. Ms. Walrus' en 'Hr. Ms. Bruinvis'**

*Tabel A.1*

Resultaten marine metingen													
Naam	Massa monster (mg)	Massa afname TG (mg)	Massa afname TG (%)	Massa afname water (mg)	% water (%)	% afname water (%)	Massa afname CO <sub>2</sub> (mg)	% afname CO <sub>2</sub> (%)	% afname overig (mg)	Massa afname overig (%)	% overig (%)	% afname overig (%)	
KM 96ALL073-1	36,00	1,57	4,36	0,66	1,82	41,72	0,23	0,64	14,65	0,69	1,90	43,63	
KM 96ALL073-2	30,90	1,20	3,88	0,54	1,73	44,58	0,19	0,60	15,42	0,48	1,55	40,00	
KM 96ALL073-3	46,50	1,93	4,15	0,61	1,32	31,81	0,22	0,47	11,40	1,10	2,36	56,79	
KM 96ALL073-4	52,60	2,15	4,09	0,68	1,29	31,63	0,24	0,45	10,93	1,24	2,35	57,44	
KM 96ALL073-5	47,70	1,98	4,15	0,62	1,30	31,36	0,18	0,38	9,14	1,18	2,47	59,49	
KM 96ALL073-6	35,60	1,31	3,68	0,42	1,18	31,98	0,18	0,52	14,05	0,71	1,99	53,97	
KM 96ALL073-7	54,80	2,09	3,81	0,71	1,29	33,88	0,23	0,42	11,05	1,15	2,10	55,07	
KM 96ALL073-8	48,70	1,86	3,82	0,54	1,11	28,98	0,21	0,43	11,18	1,11	2,29	59,84	
KM 96ALL073-9	54,10	2,16	3,99	0,66	1,21	30,42	0,22	0,41	10,28	1,28	2,37	59,31	
KM 96ALL073-10	50,50	2,47	4,89	0,77	1,53	31,21	0,21	0,41	8,30	1,49	2,96	60,49	
KM 96ALL073-11	50,40	2,09	4,15	0,61	1,21	29,09	0,23	0,46	11,20	1,25	2,48	59,71	
KM 96ALL073-12	46,20	1,74	3,77	0,63	1,36	36,15	0,22	0,48	12,87	0,89	1,92	50,98	
KM 96ALL073-13	42,90	1,87	4,36	0,55	1,29	29,52	0,19	0,45	10,27	1,13	2,62	60,21	
KM 96ALL073-14	50,80	2,14	4,21	0,76	1,50	35,56	0,23	0,46	10,84	1,15	2,26	53,60	
KM 96ALL074-3	43,70	1,64	3,75	0,52	1,20	31,89	0,22	0,50	13,23	0,90	2,06	54,88	
KM 96ALL074-7	45,30	1,63	3,60	0,58	1,28	35,58	0,21	0,46	12,82	0,84	1,86	51,60	
KM 96ALL074-11	54,30	2,14	3,94	0,67	1,23	31,21	0,23	0,42	10,61	1,25	2,29	58,18	
KM 96ALL075-3	42,50	1,86	4,38	0,69	1,63	37,31	0,32	0,74	16,94	0,85	2,00	45,75	
KM 96ALL075-7	49,10	1,80	3,67	0,62	1,25	34,22	0,22	0,44	12,11	0,97	1,97	53,67	
KM 96ALL075-11	53,70	1,75	3,26	0,41	0,77	23,49	0,37	0,69	21,09	0,97	1,81	55,43	
KM 96ALL076-3	52,90	1,85	3,50	0,55	1,04	29,78	0,22	0,41	11,84	1,08	2,04	58,38	
KM 96ALL076-7	48,00	1,78	3,71	0,58	1,20	32,47	0,26	0,55	14,83	0,94	1,95	52,70	
KM 96ALL076-11	55,90	2,63	4,70	1,02	1,83	38,82	0,45	0,80	17,07	1,16	2,08	44,11	
KM 96ALL077-3	44,40	1,59	3,58	0,52	1,17	32,58	0,26	0,59	16,48	0,81	1,82	50,94	
KM 96ALL077-7	58,60	2,40	4,10	0,92	1,56	38,21	0,26	0,44	10,75	1,23	2,09	51,04	
KM 96ALL077-11	47,10	1,81	3,84	0,48	1,01	26,30	0,23	0,48	12,54	1,11	2,35	61,16	
KM 96ALL078-3	53,10	2,29	4,31	0,67	1,27	29,34	0,23	0,43	10,00	1,39	2,62	60,66	
KM 96ALL078-7	58,60	2,63	4,49	0,86	1,46	32,59	0,25	0,42	9,47	1,52	2,60	57,95	
KM 96ALL078-11	47,50	1,70	3,58	0,52	1,09	30,41	0,19	0,41	11,41	0,99	2,08	58,18	
KM 96ALL089-3	58,20	2,29	3,93	1,43	2,46	62,49	0,27	0,46	11,79	0,59	1,01	25,72	
KM 96ALL089-7	43,40	1,47	3,39	0,54	1,24	36,46	0,21	0,48	14,08	0,73	1,68	49,46	
KM 96ALL089-11	58,90	1,94	3,29	1,07	1,81	54,95	0,22	0,38	11,55	0,65	1,10	33,51	
KM 96ALL095-1	48,8	2,14	4,39	0,887	1,82	41,45	0,25	0,52	11,78	1,00	2,05	46,78	
KM 96ALL095-2	39,1	1,79	4,58	0,787	2,01	43,97	0,25	0,64	14,08	0,75	1,92	41,96	
KM 96ALL095-3	40,7	1,8	4,42	0,836	2,05	46,44	0,25	0,60	13,67	0,72	1,76	39,89	

Tabel A.1: (vervolg).

Naam	Massa	Massa	Massa	Massa	%	%	Massa	%	%	Massa	%	%
	monster	afname	TG	TG	afname	water	afname	water	CO <sub>2</sub>	afname	overig	overig
	(mg)	(mg)	(%)	(%)	(mg)	(%)	(mg)	(%)	(%)	(mg)	(%)	(%)
KM 96ALL095-4	46,5	1,88	4,04	0,969	2,08	51,54	0,32	0,69	17,13	0,59	1,27	31,33
KM 96ALL095-5	45,7	2,24	4,90	0,995	2,18	44,42	0,31	0,69	14,02	0,93	2,04	41,56
KM 96ALL095-6	54,3	2,28	4,20	1,105	2,03	48,46	0,34	0,62	14,87	0,84	1,54	36,67
KM 96ALL095-7	55,3	2,05	3,71	1,104	2,00	53,85	0,28	0,51	13,71	0,67	1,20	32,44
KM 96ALL095-8	46,2	2,16	4,68	0,988	2,14	45,74	0,3	0,66	14,07	0,87	1,88	40,19
KM 96ALL095-9	51,9	2,26	4,35	1,107	2,13	48,98	0,3	0,58	13,27	0,85	1,64	37,74
KM 96ALL095-10	46,2	2,16	4,68	1,193	2,58	55,23	0,31	0,68	14,49	0,65	1,42	30,28
KM 96ALL095-11	53,9	2,02	3,75	1,25	2,32	61,88	0,36	0,66	17,67	0,41	0,77	20,45
KM 96ALL095-12	47,6	2,04	4,29	0,851	1,79	41,72	0,25	0,53	12,25	0,94	1,97	46,03
KM 96ALL095-13	61,4	3,06	4,98	1,508	2,46	49,28	0,36	0,58	11,70	1,19	1,94	39,02
KM 96ALL095-14	41,9	1,36	3,25	0,778	1,86	57,21	0,25	0,60	18,46	0,33	0,79	24,34
Noritheenplaat vers (*)	37,50	3,72	9,92	2,44	6,52	65,70	0,19	0,51	5,11	1,09	2,90	29,19
Noritheenplaat vers 2 (*)	43,7	3,5	8,01	2,2	5,03	62,86	0,32	0,72	9,03	0,98	2,25	28,11
Noritheenplaat vers 3	33,8	1,26	3,73	0,92	2,72	73,02	0,26	0,77	20,63	0,08	0,24	6,35

(\*) Watersignaal out of range!

## Bijlage B Mac-waarden gebaseerd op zeven dagen continue blootstelling

In onderstaande tabel zijn voor een aantal componenten, zoals gedetecteerd aan boord van onderzeeërs, de Space Craft Maximum Allowable Concentration (SMAC) waarden<sup>1</sup> vermeld, gebaseerd op 7 dagen continue blootstelling.

Component	SMAC-waarde (mg m <sup>-3</sup> )
ethanol	94
2-methylbutaan	295
n-pentaan	590
n-hexaan	176
benzeen	0,32
cyclohexane	206
n-heptaan	205
methyl-cyclohexaan	80,2
tolueen	75,3
n-octaan	350
ethyl benzeen	86,8
m,p-xyleen	86,8
n-nonaan	315
acetaldehyde	54
formaldehyde	0,12
acroleïne	0,11

<sup>1</sup> Spacecraft maximum allowable concentrations for airborne contaminants, NASA, May 1990.

**Bijlage C****Gegevens gebruikt voor berekening van een indicatie voor de maximale gebruiksduur van de actieve koolfilters aan boord van onderzeeërs van de Walrusklasse [3]***Tabel C.1*

Debit één luchtbehandelingseenheid	1 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
Oppervlak	0,153 m <sup>2</sup>
Lengte	0,61 m
Bedporositeit	0,37
Bulkdichtheid norittheen	750 kg m <sup>-3</sup>
Adsorptiecapaciteit	0,35 kg kg <sup>-1</sup>

ONGERUBRICEERD  
**REPORT DOCUMENTATION PAGE**  
**(MOD-NL)**

1. DEFENCE REPORT NO. (MOD-NL) TD97-0297	2. RECIPIENT'S ACCESSION NO.	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO. PML 1997-A70
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO. 211497067	5. CONTRACT NO. A90KM436	6. REPORT DATE December 1997
7. NUMBER OF PAGES 25 (incl. 3 annexes, excl. RDP & distribution list)	8. NUMBER OF REFERENCES 3	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Final

10. TITLE AND SUBTITLE  
 Investigation of the service life of activated carbon filters on board of Walrus class submarines  
 (Onderzoek gebruiksduur actieve koolfilters aan boord van onderzeeërs van de Walrusklasse)

11. AUTHOR(S)

Dr. E.P.J. Mallens

12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES)

TNO Prins Maurits Laboratory, P.O. Box 45, 2280 AA Rijswijk, The Netherlands  
 Lange Kleiweg 137, Rijswijk, The Netherlands

13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES)

DMKM  
 P.O. Box 20702, 2500 ES The Hague, The Netherlands

14. SUPPLEMENTARY NOTES

The classification designation Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified.

15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE))

The service life of active carbon filters on board of submarines of the Walrus class was investigated. Spent filtration material from the 'Hr. Ms. Walrus' and 'Hr. Ms. Bruinvis' was analysed. The adsorption capacity of the filters on board of both submarines was completely used at the moment the filtration material was replaced. The adsorbed phase mainly consists of n-alkanes in the range of C<sub>9</sub>-C<sub>17</sub> and smaller amounts of branched alkanes and C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub> benzenes, based on analysis of the desorbed fraction. The currently used filtration material seems suitable for the removal of the type of contaminants present in the atmosphere of submarines of the Walrus class as its adsorption capacity is completely available for those molecules. The desorption of adsorbed components is a very slow process. Based on measurements on the concentration of contaminants and technical information of the Royal Netherlands Navy the service life of the active-carbon filters has been calculated, which is in the range of 36 to 285 hours operation with closed air purification system. For an optimal air purification on board of submarines the filtration material will have to be replaced more frequently or a different filtration material has to be used with a higher adsorption capacity per unit volume.

16. DESCRIPTORS	DESCRIPTORS
Activated carbon	Measurements
Filters	Filtration
Service Life	Adsorption
Submarines	Airconditioning

17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT)	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE)	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT)
Ongerubriceerd	Ongerubriceerd	Ongerubriceerd

18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT	17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES)
Unlimited Distribution	Ongerubriceerd

Distributielijst \*

- 1\*/2\* DWOO
- 3 DWOO
- 4\* HWO-KL
- 5\* HWO-KLu
- 6 HWO-KM
- 7\* HWO-CO
- 8 DMKM  
Ing. H. van Es
- 9 Bureau TNO-DO
- 10\* Bureau TNO-DO, accountcoördinator KM
- 11/13 Bibliotheek KMA
- 14\* Lid Instituuts Advies Raad PML  
Prof. dr. F.N. Hooge
- 15\* Lid Instituuts Advies Raad PML  
Prof. dr. U.A. Th. Brinkman
- 16 TNO-PML, Directie; daarna reserve
- 17 TNO-PML, Hoofd Divisie Toxische Stoffen  
Dr. ir. J. Medema
- 18/20 TNO-PML Divisie Toxische Stoffen, Groep Adembescherming en Luchzuivering  
Dr. ir. J.J.G.M. van Bokhoven, Drs. H. Jager en Dr. ir. E.P.J. Mallens
- 21 TNO-PML, Documentatie
- 22 TNO-PML, Archief

---

\* De met een asterisk (\*) gemerkte instanties/personen ontvangen uitsluitend de titelpagina, het managementuitreksel, de documentatiepagina en de distributielijst van het rapport.